

Sensor calibration method involves determining correlation of current condition measurement with existing traces of values and calculating correction factor for calibration

Publication number: DE10049684

Publication date: 2002-04-18

Inventor: ALTMANN JUERGEN (DE); LIEBSCHER DIRK (DE);
SCHRODI WOLFGANG (DE)

Applicant: EADS DEUTSCHLAND GMBH (DE)

Classification:

- international: **G01D18/00; G01D18/00; (IPC1-7): G01D21/00**

- European: **G01D18/00B2**

Application number: DE20001049684 20001007

Priority number(s): DE20001049684 20001007

Report a data error here

Abstract of DE10049684

The method involves carrying out successively condition measurements and checking after each measurement if the value of the current measurement correlates with existing traces of values. The variation of the condition measurement of the corresponding trace is determined in the case of a correlation. A new correction factor is calculated in addition to the variation for the calibration of at least one sensor of the sensor compound.

Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 100 49 684 A 1**

⑤① Int. Cl. 7:
G 01 D 21/00

②① Aktenzeichen: 100 49 684.9
②② Anmeldetag: 7. 10. 2000
④③ Offenlegungstag: 18. 4. 2002

DE 100 49 684 A 1

⑦① Anmelder:
EADS Deutschland GmbH, 80995 München, DE

⑦② Erfinder:
Altmann, Jürgen, Dr., 89077 Ulm, DE; Liebscher,
Dirk, Dr., 89077 Ulm, DE; Schrodi, Wolfgang, Dr.,
86489 Deisenhausen, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Vollautomatischer Messinstrumenten-Eichfehlerreduzierer

⑤⑦ Viele Überwachungsaufgaben werden mit Hilfe von installierten Sensoren verschiedener Art (optische Sensoren, Radar, Sonar, Infrarot, Druck- und Temperaturfühler usw.) durchgeführt. Um genaue Messergebnisse zu erhalten, ist eine teilweise sehr aufwendige Eichung der Sensoren erforderlich. Während dies bei fest installierten Sensoren mittels eines bekannten Ziels noch relativ einfach zu machen ist, erfordern mobile Sensoren (z. B. Radaranlagen an Bord eines Schiffes) eine ständige Erzeugung der Eichung. Zusätzlich können sich kleinere Abweichungen dadurch ergeben, dass z. B. die Plattform, auf welcher der Sensor montiert ist, sich durch Temperaturschwankungen etwas verzieht.

Um diese Probleme zu beseitigen, wird ein Verfahren zur dynamischen, vollautomatischen Eichung von Sensoren in einem Sensorverbund, mittels welchem Zustandsmessungen in zeitlicher Abfolge durchgeführt und bezüglich ihrer Historie bzw. Spur betrachtet werden, beschrieben. Hierbei wird nach jeder Zustandsmessung überprüft, ob der Wert einer aktuellen Zustandsmessung mit existierenden Spuren von Zustandswerten korreliert. Für den Fall einer Korrelation und bei Vorliegen einiger weiterer Auswahlkriterien, wird die Abweichung der Zustandsmessung zu der entsprechenden Spur bestimmt und im Folgenden sodann aus dieser Abweichung ein neuer Korrekturfaktor für die Eichung zumindest eines der Sensoren des Sensorverbundes berechnet.

DE 100 49 684 A 1

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren nach dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1.

[0002] Viele Überwachungsaufgaben werden mit Hilfe von installierten Sensoren verschiedener Art (Optische Sensoren, Radar, Sonar, Infrarot, Druck- und Temperaturfühler usw.) durchgeführt. Um genaue Messergebnisse zu erhalten, ist eine teilweise sehr aufwendige Eichung der Sensoren erforderlich. Während dies bei fest installierten Sensoren zum Beispiel mittels eines bekannten Ziels noch relativ einfach zu machen ist, erfordern mobile Sensoren (z. B. Radaranlage an Bord eines Schiffes) eine ständige Erneuerung der Eichung. Zusätzlich können sich kleinere Abweichungen dadurch ergeben, dass beispielsweise die Plattform, auf welcher der Sensor montiert ist, sich durch Temperaturschwankungen etwas verzieht oder ein systematischer, zeitlich langsam veränderlicher Fehler (Bias) auftritt.

[0003] Um zeitlich veränderliche Zustände erfassen und beobachten zu können, ist es häufig notwendig, mittels eines Sensorverbundes Zustandsmessungen in zeitlicher Abfolge durchzuführen und bezüglich ihrer Historie zu betrachten. Ein Beispiel hierfür ist die Zielverfolgung, bei welcher Messdaten einzelner Ziele in möglichst kurzen Zeitabständen erneuert werden und durch die verschiedenen, gemessenen Positionen eines Ziels eine Spur gelegt wird. Ein solches Verfahren zur Zielverfolgung wird üblicherweise als Tracking bezeichnet. Eine nicht ausreichende Eichung von Sensoren kann nun dazu führen, dass etwa ein und dasselbe Ziel von mehreren Sensoren jeweils an scheinbar verschiedenen Orten gesehen wird, so dass es für das Tracking nicht mehr als ein Ziel erkannt wird und daher mehrere Spuren liefert, von denen u. U. keine die wirkliche Position wiedergibt. Während für die Eichung eines einzelnen Sensors immer ein bekanntes Eichziel vorhanden sein muss, können Sensoren in einem Verbund von Sensoren durch Abgleichen der Einzelmessungen eines beliebigen Ziels geeicht werden. Befinden sich die Sensoren an verschiedenen Orten, ist eine absolute Eichung bei dislozierten Zielen oder bei bewegter Plattform möglich, d. h., die Abweichung der Messungen jedes einzelnen Sensors gegenüber den echten Messwerten kann ermittelt werden. Befinden sich die Sensoren dagegen alle nahezu am gleichen Ort (z. B. an Bord eines Schiffes), kann die Eichung immer noch relativ zueinander stattfinden.

[0004] Im folgenden wird mittels zweier Beispiele das generelle Vorgehen bei der Korrektur einer fehlerhaften Ausrichtung von Sensoren erläutert.

[0005] Beispiel 1: Ein typischer Fehler bei vielen Sensoren ist eine ungenaue Nordausrichtung. Schon 1 Grad Abweichung von der korrekten Richtung ergibt in 100 km Entfernung eine Positionsabweichung von über 1,7 km. Der vom Sensor gelieferte Azimut α_{gemessen} (Winkel zwischen Nord und horizontaler Richtung zum Ziel, gemessen im Uhrzeigersinn) muss daher mit einem Offset da versehen werden um zu einem korrekten Abweichungswinkel $\alpha_{\text{korrigiert}}$ zu gelangen

$$\alpha_{\text{korrigiert}} = \alpha_{\text{gemessen}} + \Delta\alpha \quad \text{Gl. 1}$$

[0006] Beispiel 2: Ein weiterer typischer Fehler betrifft die Entfernungsmessung r_{gemessen} eines Radars. Die Entfernungsmessung eines Radars basiert auf der Laufzeit des Radarstrahls vom Sender bis zum Empfang des Echos. Wird dabei z. B. eine Verarbeitungszeit der Daten in einer Baugruppe nicht korrekt berücksichtigt, kann dies eine konstante Verfälschung der Laufzeit und damit einen konstanten Offset Δr in der gemessenen Entfernung verursachen. Ist die Eichung der Entfernung aus der Laufzeit nicht korrekt bzw. ein Umrechnungsfaktor in einer der Baugruppen vor der Zusammenführung der einzelnen Sensordaten falsch, ergibt sich ein Faktor f_r nahe bei 1 gegenüber der richtigen Entfernung. Ausgehend von einem bekannten Offset und einem Korrekturfaktor f_r kann beispielsweise mittels Gl. 2 ein korrekter Entfernungswert $r_{\text{korrigiert}}$ bestimmt werden:

$$r_{\text{korrigiert}} = f_r (r_{\text{gemessen}} + \Delta r) \quad \text{Gl. 2}$$

[0007] Allgemein muss eine funktionale Beziehung zwischen Messwerten und wahren Werten mittels Korrekturfaktoren gefunden werden. Das aufgestellte Gleichungssystem (bei mehreren Korrekturfaktoren in einer Beziehung wie in Beispiel 2) muss mit geeigneten Verfahren gelöst werden, um daraus die gesuchten Korrekturfaktoren schätzen zu können.

[0008] Bisher kommen bei der Eichung von Sensoren, wie sie im Rahmen einer Zielverfolgung eingesetzt werden, üblicherweise zwei Verfahren zum Einsatz.

[0009] Bei dem einen Verfahren wird manuell eine Eichung mit einem Referenzziel oder Referenzsensor durchgeführt. Dabei werden die ermittelten Korrekturwerte der Datenverarbeitung zugänglich gemacht, so dass die Messwerte korrigiert werden können. Dieses Verfahren kann jedoch auf eine Änderung der Korrekturwerte etwa durch andere Wetterverhältnisse nicht reagieren, da die Änderung der Korrekturwerte nur manuell möglich ist.

[0010] Bei dem anderen bisher allgemein üblichen Verfahren kann der Radaroperator eine Eichung in der Datenverarbeitung veranlassen, indem er auf seinem Sichtgerät ein Referenzziel sowie ein von der Datenverarbeitung erzeugtes Ziel markiert. Die Datenverarbeitung kann daraus einen Korrekturwert, wie beispielsweise in Gl. 1 bestimmen. Für einen Satz von Korrekturwerten, wie er in Gl. 2 zur Verwendung kommt, sind jedoch mehrere Messungen zu vergleichen, was zu aufwendigeren Bedienungsschritten für den Operator führt. Auch hier muss eine Änderung der Eichung vom Operator veranlasst werden, eine dynamische Anpassung von der Datenverarbeitung erfolgt nicht. Dem Operator obliegt die Verantwortung, geeignete Ziele auszuwählen. So muss der Operator beispielsweise entscheiden, ob es sich bei zwei parallel verlaufenden Spuren auf seinem Sichtgerät um zwei Ziele (2 parallel fliegende Jets) oder nur um eines (2 Radare sehen denselben Jet an scheinbar verschiedenen Orten) handelt.

[0011] Die Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren zur dynamischen, vollautomatischen Eichung von Sensoren in einem Sensorverbund zu finden, mittels welchem Zustandsmessungen in zeitlicher Abfolge durchgeführt und bezüglich ihrer Historie bzw. Spur betrachtet werden.

[0012] Die Aufgabe wird durch ein Verfahren nach den Merkmalen des Anspruches 1 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen der Erfindung sind in den diesem Anspruch untergeordneten Ansprüchen beschrieben.

[0013] Die Aufgabe wird in erfinderischer Weise dadurch gelöst, dass nach jeder Zustandsmessung überprüft wird, ob der Wert einer aktuellen Zustandsmessung mit existierenden Spuren von Zustandswerten korreliert, und dass für den Fall

einer Korrelation die Abweichung der Zustandsmessung zu der entsprechenden Spur bestimmt wird. Im folgenden wird sodann aus dieser Abweichung neue Korrekturfaktoren für die Eichung zumindest eines der Sensoren des Sensorverbundes berechnet, welche für die Korrektur der nachfolgenden Zustandsmessungen verwendet werden.

[0014] In besonders vorteilhafter Weise wird bei der Berechnung des Korrekturfaktors für die Eichung zumindest eines der Sensoren des Sensorverbundes unterschieden,

- ob die Spur, mit welcher der Wert der aktuellen Zustandsmessung korreliert und von welcher sodann die Abweichung ermittelt wird, nur von einem Sensor gestützt wird, der damit geeicht werden kann,
- oder ob diese Spur zusätzlich zu dem zu eichenden Sensor noch von mindestens einem weiteren Sensor des Sensorverbundes gestützt wird.

[0015] Für den Fall, dass die Spur, mit welcher der Wert der aktuellen Zustandsmessung korreliert, nur von einem Sensor gestützt wird, wird, sofern vorhanden, eine weitere Spur ausgewählt, welche von mindestens einem anderen der Sensoren des Sensorverbundes gestützt wird und keine Zustandsmessung des zu eichenden Sensors enthält. Dabei ist darauf zu achten, dass die beiden Zielspuren in ihren Parametern im Rahmen der Messgenauigkeit der Sensoren und des anzunehmenden Messfehlers übereinstimmen; beispielsweise wären im Falle eines Trackings bei der Zielverfolgung die zu beachtenden Parameter die Geschwindigkeit und die Position eines potentiellen Zieles. Anschließend an diese Auswahl wird in gewinnbringender Weise für beide Spuren ein gemeinsames, gewichtetes Mittel bezüglich ihrer Parameter berechnet und die Abweichung der Zustandsmessung von diesem Mittel jeweils in die Koordinaten der beteiligten Sensoren beider Spuren transformiert. Hierdurch kann für alle beteiligten Sensoren eine Eichung durchgeführt werden. Dieser Fall tritt meist gehäuft in der Einschwingphase auf, wobei das erfindungsgemäße Verfahren sodann für eine schnelle Annäherung an eine korrekte Eichung sorgt.

[0016] Im Gegensatz hierzu, wird in vorteilhafter Weise für den Fall, dass die Spur mit welcher der Wert der aktuellen Zustandsmessung eines Sensors korreliert, zusätzlich zu diesem Sensor noch von mindestens einem weiteren Sensor des Sensorverbundes gestützt wird, direkt die Abweichung der Zustandsmessung von dieser Spur bestimmt. Dies geschieht unter der realistischen Annahme, dass die Spur durch die Mittelung der Daten mehrerer Sensoren schon eine annähernd korrekte Position besitzt. Dieser Fall tritt meist nach dem Einschwingen auf und verfeinert die Eichung.

[0017] Bei der Auswahl der Zielspuren von entfernungsmessenden Sensoren ist es ratsam, nur solche Zielspuren zu verwenden, welche Zielen zuzuordnen sind, welche sich weit genug vom Sensor entfernt befinden, da im Nahbereich der Sensoren die Bestimmung einer Winkelablage stark verfälscht sein kann, was wiederum eine Eichung der Sensoren verfälschen würde.

[0018] Es ist zudem empfehlenswert, für eine Eichung nur auf Zielspuren zurückzugreifen, welche relativ stabil in ihrem Verhalten und nicht abrupten Änderungen unterworfen sind.

[0019] Nach der Transformation der Abweichung der aktuellen Zustandsmessung in die Koordinaten des zu eichenden Sensors wird diese zur Ermittlung eines neuen Korrekturfaktors für die Eichung herangezogen. Dabei wird in vorteilhafter Weise die Abweichung einer Wichtung mit dem Faktor

$$\frac{W}{N + W}$$

wird, worin N der Anzahl von bereits durchgeführten Änderungen des Korrekturfaktors entspricht und W einem Wichtungswert entspricht, bei dessen Bestimmung unterschieden wird, ob die Spur, mit welcher der Wert der aktuellen Zustandsmessung korreliert und von welcher sodann die Abweichung ermittelt wird, nur von dem zu eichenden Sensor gestützt wird, oder ob diese Spur zusätzlich zu dem zu eichenden Sensor noch von mindestens einem weiteren Sensor des Sensorverbundes gestützt wird, so dass

- für den Fall, dass die Spur mit welcher der Wert der aktuellen Zustandsmessung korreliert, nur von dem zu eichenden Sensor gestützt wird, der Wichtungswert W so gewählt wird, dass er der Anzahl der bisher in die Zielspur eingebauten Messpunkte entspricht,
- für den Fall, dass die Spur mit welcher der Wert der aktuellen Zustandsmessung korreliert, zusätzlich vom zum eichenden Sensor noch von mindestens einem weiteren Sensor des Sensorverbundes gestützt wird, der Wichtungswert W zu $W = 1$ gewählt wird.

[0020] Bei dieser Vorgehensweise ist es vorteilhaft, den Wert N, welcher der Anzahl von bereits durchgeführten Änderungen des Korrekturfaktors entspricht, auf ein Maximum N_{\max} (beispielsweise $N_{\max} = 100$) zu begrenzen. Es ist ebenso gewinnbringend den Wert W, welcher im allgemeinen der Anzahl der bisher in die Zielspur eingebauten Messpunkte entspricht, auf ein Maximum W_{\max} zu beschränken, wobei in vorteilhafter Weise $W_{\max} = 2 \cdot N_{\max}$ gewählt wird.

[0021] Allgemein können mit dem erfindungsgemäßen Verfahren beliebige Korrekturen von Sensoren innerhalb eines Sensorverbundes durchgeführt werden. Es muss dazu lediglich möglich sein, eine Korrekturgleichung wie Gl. 1 oder Gl. 2 dafür anzugeben. Für jede verwendete Unbekannte in einer solchen Korrekturgleichung, beispielsweise $\Delta\alpha$ in Gl. 1 oder Δr und Δr in Gl. 2 muss dann eine Vergleichsmessung erfolgen, aus deren man dann ein Gleichungssystem erhält, dessen Lösung einen Satz der Korrekturen bestimmt.

[0022] Falls für eine Messkoordinate mehrere Korrekturwerte wie in Gl. 2 benötigt werden, muss eine entsprechende Anzahl von Paaren ausgewertet werden und damit das sich ergebende Gleichungssystem gelöst werden.

[0023] Für obiges Beispiel Gl. 1, der Azimut-Korrektur, wird also mit dem Verfahren ein $\delta\alpha$ bestimmt, mit dem die bisherige Korrektur $\Delta\alpha_{\text{alt}}$ korrigiert wird zu

einer Korrelation die Abweichung der Zustandsmessung zu der entsprechenden Spur bestimmt wird. Im folgenden wird sodann aus dieser Abweichung neue Korrekturfaktoren für die Eichung zumindest eines der Sensoren des Sensorverbundes berechnet, welche für die Korrektur der nachfolgenden Zustandsmessungen verwendet werden.

[0014] In besonders vorteilhafter Weise wird bei der Berechnung des Korrekturfaktors für die Eichung zumindest eines der Sensoren des Sensorverbundes unterschieden,

- ob die Spur, mit welcher der Wert der aktuellen Zustandsmessung korreliert und von welcher sodann die Abweichung ermittelt wird, nur von einem Sensor gestützt wird, der damit geeicht werden kann,
- oder ob diese Spur zusätzlich zu dem zu eichenden Sensor noch von mindestens einem weiteren Sensor des Sensorverbundes gestützt wird.

[0015] Für den Fall, dass die Spur, mit welcher der Wert der aktuellen Zustandsmessung korreliert, nur von einem Sensor gestützt wird, wird, sofern vorhanden, eine weitere Spur ausgewählt, welche von mindestens einem anderen der Sensoren des Sensorverbundes gestützt wird und keine Zustandsmessung des zu eichenden Sensors enthält. Dabei ist darauf zu achten, dass die beiden Zielspuren in ihren Parametern im Rahmen der Messgenauigkeit der Sensoren und des anzunehmenden Messfehlers übereinstimmen; beispielsweise wären im Falle eines Trackings bei der Zielverfolgung die zu beachtenden Parameter die Geschwindigkeit und die Position eines potentiellen Zieles. Anschließend an diese Auswahl wird in gewinnbringender Weise für beide Spuren ein gemeinsames, gewichtetes Mittel bezüglich ihrer Parameter berechnet und die Abweichung der Zustandsmessung von diesem Mittel jeweils in die Koordinaten der beteiligten Sensoren beider Spuren transformiert. Hierdurch kann für alle beteiligten Sensoren eine Eichung durchgeführt werden. Dieser Fall tritt meist gehäuft in der Einschwingphase auf, wobei das erfindungsgemäße Verfahren sodann für eine schnelle Annäherung an eine korrekte Eichung sorgt.

[0016] Im Gegensatz hierzu, wird in vorteilhafter Weise für den Fall, dass die Spur mit welcher der Wert der aktuellen Zustandsmessung eines Sensors korreliert, zusätzlich zu diesem Sensor noch von mindestens einem weiteren Sensor des Sensorverbundes gestützt wird, direkt die Abweichung der Zustandsmessung von dieser Spur bestimmt. Dies geschieht unter der realistischen Annahme, dass die Spur durch die Mittelung der Daten mehrerer Sensoren schon eine annähernd korrekte Position besitzt. Dieser Fall tritt meist nach dem Einschwingen auf und verfeinert die Eichung.

[0017] Bei der Auswahl der Zielspuren von entfernungsmessenden Sensoren ist es ratsam, nur solche Zielspuren zu verwenden, welche Zielen zuzuordnen sind, welche sich weit genug vom Sensor entfernt befinden, da im Nahbereich der Sensoren die Bestimmung einer Winkelablage stark verfälscht sein kann, was wiederum eine Eichung der Sensoren verfälschen würde.

[0018] Es ist zudem empfehlenswert, für eine Eichung nur auf Zielspuren zurückzugreifen, welche relativ stabil in ihrem Verhalten und nicht abrupten Änderungen unterworfen sind.

[0019] Nach der Transformation der Abweichung der aktuellen Zustandsmessung in die Koordinaten des zu eichenden Sensors wird diese zur Ermittlung eines neuen Korrekturfaktors für die Eichung herangezogen. Dabei wird in vorteilhafter Weise die Abweichung einer Wichtung mit dem Faktor

$$\frac{W}{N + W}$$

wird, worin N der Anzahl von bereits durchgeführten Änderungen des Korrekturfaktors entspricht und W einem Wichtungswert entspricht, bei dessen Bestimmung unterschieden wird, ob die Spur, mit welcher der Wert der aktuellen Zustandsmessung korreliert und von welcher sodann die Abweichung ermittelt wird, nur von dem zu eichenden Sensor gestützt wird, oder ob diese Spur zusätzlich zu dem zu eichenden Sensor noch von mindestens einem weiteren Sensor des Sensorverbundes gestützt wird, so dass

- für den Fall, dass die Spur mit welcher der Wert der aktuellen Zustandsmessung korreliert, nur von dem zu eichenden Sensor gestützt wird, der Wichtungswert W so gewählt wird, dass er der Anzahl der bisher in die Zielspur eingebauten Messpunkte entspricht,
- für den Fall, dass die Spur mit welcher der Wert der aktuellen Zustandsmessung korreliert, zusätzlich vom zum eichenden Sensor noch von mindestens einem weiteren Sensor des Sensorverbundes gestützt wird, der Wichtungswert W zu $W = 1$ gewählt wird.

[0020] Bei dieser Vorgehensweise ist es vorteilhaft, den Wert N, welcher der Anzahl von bereits durchgeführten Änderungen des Korrekturfaktors entspricht, auf ein Maximum N_{\max} (beispielsweise $N_{\max} = 100$) zu begrenzen. Es ist ebenso gewinnbringend den Wert W, welcher im allgemeinen der Anzahl der bisher in die Zielspur eingebauten Messpunkte entspricht, auf ein Maximum W_{\max} zu beschränken, wobei in vorteilhafter Weise $W_{\max} = 2 \cdot N_{\max}$ gewählt wird.

[0021] Allgemein können mit dem erfindungsgemäßen Verfahren beliebige Korrekturen von Sensoren innerhalb eines Sensorverbundes durchgeführt werden. Es muss dazu lediglich möglich sein, eine Korrekturgleichung wie Gl. 1 oder Gl. 2 dafür anzugeben. Für jede verwendete Unbekannte in einer solchen Korrekturgleichung, beispielsweise $\Delta\alpha$ in Gl. 1 oder Δr und Δr in Gl. 2 muss dann eine Vergleichsmessung erfolgen, aus deren man dann ein Gleichungssystem erhält, dessen Lösung einen Satz der Korrekturen bestimmt.

[0022] Falls für eine Messkoordinate mehrere Korrekturwerte wie in Gl. 2 benötigt werden, muss eine entsprechende Anzahl von Paaren ausgewertet werden und damit das sich ergebende Gleichungssystem gelöst werden.

[0023] Für obiges Beispiel Gl. 1, der Azimut-Korrektur, wird also mit dem Verfahren ein $\delta\alpha$ bestimmt, mit dem die bisherige Korrektur $\Delta\alpha_{\text{alt}}$ korrigiert wird zu

$$\Delta\alpha_{\text{neu}} = \Delta\alpha_{\text{alt}} + \delta\alpha \cdot \frac{W}{N+W} \quad \text{Gl. 3}$$

- 5 [0024] Im Beispiel Gl. 2, der Entfernungskorrektur, müssen zwei Korrekturwerte bestimmt werden, die voneinander abhängig sind. Also werden jeweils zwei Paare ($r_{\text{sol}, 1}$, $r_{\text{sol}, 2}$, $r_{\text{ist}, 1}$, $r_{\text{ist}, 2}$) gesammelt und damit das Gleichungssystem gelöst:

$$10 \quad \delta r = \frac{r_{\text{sol}, 1} \cdot r_{\text{ist}, 2} - r_{\text{sol}, 2} \cdot r_{\text{ist}, 1}}{r_{\text{sol}, 2} - r_{\text{sol}, 1}} \quad \text{mit } r_{\text{sol}, 1} \neq r_{\text{sol}, 2}$$

$$15 \quad f_{\text{neu}} = \frac{r_{\text{sol}, 2} - r_{\text{sol}, 1}}{r_{\text{ist}, 2} - r_{\text{ist}, 1}} \quad \text{mit } r_{\text{ist}, 1} \neq r_{\text{ist}, 2} \quad \text{Gl. 4}$$

- [0025] Mit der Wichtung ergeben sich dann folgende neue Korrekturwerte:

$$20 \quad \Delta r_{\text{neu}} = \Delta r_{\text{alt}} + \delta r \cdot \frac{W}{N+W} \quad \text{Gl. 5}$$

$$25 \quad fr_{\text{neu}} = fr_{\text{alt}} \cdot \frac{W + W \cdot f_{\text{neu}}}{N+W} \quad \text{Gl. 6}$$

[0026] In vorteilhafter Weise lässt sich das erfindungsgemäße Verfahren innerhalb eines Meßsystems einsetzen, bei welchem die Messdaten der einzelnen Sensoren in einer gemeinsamen Datenverarbeitung zusammenlaufen und dort 30 Spuren der Zustandsmessungen generiert werden. Die Spurbetrachtung beruht sodann darauf, dass die Messdaten einzelner Ziele in möglichst kurzen Zeitabständen erneuert werden. Durch die verschiedenen Zustandsmessungen kann dann eine Spur gelegt werden, die systematische Messfehler (z. B. Auflösungsgrenzen) glättet und somit die Ermittlung der Parameter eines Zustandes gegenüber einer Einzelmessung verbessert.

[0027] Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren ist besonders seine Eigenschaft seiner automatischen Funktionalität 35 hervorzuheben. Auch ermöglicht es, einen Sensorverbund auf langsame Veränderungen im seinem Umfeld (beispielsweise Wetteränderungen oder Temperaturschwankungen) automatisch zu adaptieren.

[0028] Aufgrund des im Verhältnis zur eigentlichen Spurbildung geringen Rechenaufwandes wird keine nennenswerte zusätzliche Rechenleistung benötigt, so dass sich das erfindungsgemäße Verfahren in besonderer Weise für eine Echtzeit-Anwendung eignet.

40 [0029] Da im Gegensatz zu manuellen Eichprozeduren bei dem erfindungsgemäßen Verfahren viele Zustandsmessung/Spur-Paare verwendet werden, hat die Auswahl eines falschen Paares keine negativen Auswirkungen. Damit ist das erfindungsgemäße Verfahren robust gegen eine falsche Auswahl von Zustandsmessungen bzw. Spur-Paaren.

[0030] In gewinnbringender Weise ist es auch denkbar, das Verfahren so zu implementieren, dass zusätzlich zu der automatischen Funktionalität auch eine manuelle Korrektur ermöglicht wird.

45 [0031] In vorteilhafter Weise ist es auch möglich, durch das Aufzeichnen von Zustandsmessungen nachträglich, im Offline-Betrieb einen Sensorverbund zu eichen und somit die aufgezeichneten Daten zu korrigieren.

Patentsprüche

50 1. Verfahren zur dynamischen, vollautomatischen Eichung von Sensoren in einem Sensorverbund, mittels welchem Zustandsmessungen in zeitlicher Abfolge durchgeführt und bezüglich ihrer Historie bzw. Spur betrachtet werden, **dadurch gekennzeichnet**,

55 dass nach jeder Zustandsmessung überprüft wird, ob der Wert dieser aktuellen Zustandsmessung mit existierenden Spuren von Zustandswerten korreliert, dass für den Fall einer Korrelation die Abweichung der Zustandsmessung zu der entsprechenden Spur bestimmt wird, und dass aus dieser Abweichung ein neuer Korrekturfaktor für die Eichung zumindest eines der Sensoren des Sensorverbundes berechnet wird.

60 2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass bei der Berechnung des Korrekturfaktors für die Eichung zumindest eines der Sensoren des Sensorverbundes unterschieden wird, ob die Spur, mit welcher der Wert der aktuellen Zustandsmessung eines Sensors korreliert und von welcher sodann die Abweichung ermittelt wird, nur vom entsprechenden Sensor gestützt wird, oder ob diese Spur zusätzlich zu dem damit zu eichenden Sensor noch von mindestens einem weiteren Sensor des Sensorverbundes gestützt wird.

65 3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass für den Fall, dass die Spur mit welcher der Wert der aktuellen Zustandsmessung korreliert, nur von dem zu eichenden Sensor gestützt wird, eine weitere Spur ausgewählt wird, welche von mindestens einem anderen der Sensoren des Sensorverbundes gestützt wird und in seinen Parametern im Rahmen der Messgenauigkeit der Sensoren und des anzunehmenden Messfehlers übereinstimmt, und dass anschließend für diese beiden Spuren ein gemeinsames, gewichtetes Mittel bezüglich ihrer Parameter berechnet wird und die Abweichung der Zustandsmessung von diesem gewichteten Mittel in die Koordinaten des zu

eichenden Sensors transformiert wird.

4. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass für den Fall, dass die Spur mit welcher der Wert der aktuellen Zustandsmessung korreliert, zusätzlich vom zu eichenden Sensor noch von mindestens einem weiteren Sensor des Sensorverbundes gestützt wird, direkt die Abweichung der Zustandsmessung von der Spur in die Koordinaten des zu eichenden Sensors transformiert wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die in die Koordinaten des zu eichenden Sensors transformierte Abweichung der aktuellen Zustandsmessung zur Ermittlung eines neuen Korrekturfaktors für die Eichung herangezogen wird, wobei die Abweichung einer Wichtung mit dem Faktor

$$\frac{W}{N + W}$$

unterzogen wird, worin N der Anzahl von bereits durchgeführten Änderungen des Korrekturfaktors entspricht und W einem Wichtungswert entspricht, bei dessen Bestimmung unterschieden wird, ob die Spur mit welcher der Wert der aktuellen Zustandsmessung korreliert und von welcher sodann die Abweichung ermittelt wird, nur von dem zu eichenden Sensor gestützt wird, oder ob diese Spur zusätzlich zu dem zu eichenden Sensor noch von mindestens einem weiteren Sensor des Sensorverbundes gestützt wird.

6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass für den Fall, dass die Spur mit welcher der Wert der aktuellen Zustandsmessung korreliert, nur von dem zu eichenden Sensor gestützt wird, der Wichtungswert W so gewählt wird, dass er der Anzahl der bisher in die Zielspur eingebauten Messpunkte entspricht.

7. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass für den Fall, dass die Spur mit welcher der Wert der aktuellen Zustandsmessung korreliert, zusätzlich vom zum eichenden Sensor noch von mindestens einem weiteren Sensor des Sensorverbundes gestützt wird, der Wichtungswert W zu $W = 1$ gewählt wird.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Wert N, welcher der Anzahl von bereits durchgeführten Änderungen des Korrekturfaktors entspricht, auf ein Maximum N_{\max} begrenzt wird.

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Wert W, welcher im allgemeinen der Anzahl der bisher in die Zielspur eingebauten Messpunkte entspricht, auf ein Maximum W_{\max} begrenzt wird.

10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass der Wert W auf $W_{\max} = 2 \cdot N_{\max}$ begrenzt wird.

11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Verfahren so implementiert wird, dass zusätzlich zu der automatischen Funktionalität auch eine manuelle Korrektur ermöglicht wird.

12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Messdaten der Zustandsmessungen aufgezeichnet werden und nachträglich, im Offline-Betrieb der Sensorverbund geeicht und somit die aufgezeichneten Daten korrigiert werden.

- Leerseite -